

Actas XXII Congreso Riegos y Drenajes (2004)

EFICIENCIA E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LOS REGADÍOS DE LA CUENCA DEL EBRO. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

*Causapé Valenzuela J.⁽¹⁾ (P), García Vera M.A.⁽²⁾, Quílez Sáez de Viteri, D.⁽¹⁾,
Aragüés Lafarga, R.⁽¹⁾*

Resumen

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica de modo que se obtenga una visión global de la eficiencia de riego y su impacto medioambiental en los regadíos de la cuenca del Ebro.

Valores representativos de la cuenca del Ebro constatan una baja-moderada eficiencia de riego a nivel de parcela-subcuenca de las zonas con riego por inundación sobre suelos inadecuados para ello (51%), moderada-alta eficiencia de las zonas con riego por inundación sobre suelos adecuados (79%), y alta eficiencia en las zonas transformadas a riego a presión (94%).

Áreas salinas que presentan baja eficiencia en el riego y fertilización nitrogenada pueden llegar a exportar 20 t/ha/año de sales y 200 Kg N-NO₃⁻/ha/año. Sin embargo, las menores masas de sales (3 t/ha/año) y nitrógeno (25 Kg N-NO₃⁻/ha/año) exportadas en zonas con alta eficiencia de riego y fertilización nitrogenada muestran la posibilidad de disminuir sensiblemente las afecciones medioambientales de los regadíos más contaminantes.

Dada la falta de continuidad y homogeneidad en la información disponible, y la ausencia de estudios a mayor escala, se propone el establecimiento de una **Red de Control** permanente de los **Regadíos del Ebro (ReCoREbro)** que facilite información sobre la eficiencia e impacto medioambiental de los grandes polígonos de riego de la cuenca.

¹ Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria - Diputación General de Aragón (DGA). Laboratorio de Agronomía y Medio Ambiente (DGA-CSIC), Apdo. 727, 50.080 Zaragoza.

² Confederación Hidrográfica del Ebro – Ministerio de Medio Ambiente (MMA). Oficina de Planificación Hidrológica. Pº Sagasta 24-28, 50.071 Zaragoza.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Desde los inicios del proceso de planificación hidrológica de la cuenca del Ebro dos de los elementos que han merecido más atención han sido la objetivación de las necesidades de agua de los cultivos y la asignación de unas dotaciones que tuvieran en cuenta unos niveles de eficiencia elevados, si bien realistas.

La obtención de las necesidades se ampara en un proceso de cálculo en el que entran en juego, fundamentalmente, las variables climáticas. La definición de las eficiencias contempla otro conjunto de factores como son las características de los suelos y parcelas, la complejidad y características de las infraestructuras hidráulicas y los sistemas de riego.

En el proceso de redacción del Plan Hidrológico de cuenca, para llevar a cabo los trabajos anteriores se recopiló y depuró información climática de la cuenca, se recopiló información bibliográfica y se llevaron a cabo experiencias, en particular de eficiencias de aplicación en parcela en propias instalaciones agronómicas de la Confederación.

El resultado de los trabajos fue la determinación de las dotaciones de numerosas especies de cultivos en cada una de las comarcas agrarias obtenidas para un año tipo cuya lluvia podía ser superada el 20 % de los años. Para los procesos de modelización se utilizaron las dotaciones obtenidas para una eficiencia global del 60% para los sistemas complejos. Las dotaciones obtenidas se utilizan en la actualidad para los informes de los expedientes de concesión, adoptando eficiencias del 60% para sistemas complejos, del 75% para riegos por aspersión y sistemas menos complejos y del 85% para sistemas de goteo.

La calidad de las Aguas de la Cuenca del Ebro es un tema de creciente interés dada la importancia que se le da tanto en la legislación nacional (texto refundido de la ley de Aguas de 2001 y Ley 62/2003) como europea (Directiva Marco del Agua de 2000). Para el estudio de la calidad de las aguas la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) está desarrollando una serie de trabajos destinados hacia la caracterización del contenido químico de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del Ebro. Estos trabajos de caracterización se basan en el estudio de la abundante información hidroquímica tomada desde hace dos decenios por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Área de Calidad de CHE y se han enfocado en el almacenamiento, depuración y realización de una primera caracterización hidroquímica general de la cuenca. A pesar de los esfuerzos realizados, a fecha de hoy no existe una valoración detallada sobre la importancia de los regadíos en la calidad natural de las aguas. Si bien hay bastantes estudios de detalle sobre estos efectos en algunas zonas concretas, por el momento, no se ha realizado un trabajo de síntesis global para toda la cuenca del Ebro.

El objetivo del presente estudio es la realización de una revisión bibliográfica sobre la eficiencia del riego e impacto medioambiental sobre los recursos hídricos en zonas regables de la cuenca del Ebro y, a partir de su síntesis, establecer una propuesta para el control de la cantidad y calidad de los retornos, de tal manera, que se genere la información necesaria para la adecuada planificación y gestión del agua en la cuenca del Ebro.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La búsqueda bibliográfica se abordó bajo la consulta en bibliotecas, bases bibliográficas informáticas y la puesta en contacto (en persona, vía telefónica o mediante correo electrónico) con los Centros u Organismos relacionados con la materia y sus principales grupos de investigación (Tabla 1). La metodología seguida ha pretendido abarcar el máximo número de trabajos, paliando en la medida de lo posible la falta de divulgación de muchos estudios científico-técnicos que tras ser realizados quedan almacenados como documentos no publicados.

Entre la bibliografía revisada se seleccionaron los trabajos que presentan evaluaciones cuantitativas frente aquellos que abordan la temática de forma descriptiva. La búsqueda bibliográfica detectó numerosos casos de duplicidad de información ya que los resultados de trabajos académicos como Tesis Doctorales se han difundido a través de comunicaciones a congresos y posteriores publicaciones en revistas científico-técnicas nacionales e internacionales. Igualmente, existen publicaciones que consisten en la recopilación de los resultados de trabajos anteriores o estudios de una misma zona llevados a cabo en diferentes periodos que dan lugar a varias publicaciones.

Una vez seleccionada la información, se ha realizado un análisis de detalle de 103 estudios. Para ello se ha cumplimentado una ficha por cada trabajo en la que se incluyen los autores, título, año de la publicación, tipo de publicación y un resumen en el que se hace referencia a las aportaciones concretas del trabajo al tema de la eficiencia y afección medioambiental de los regadíos de la cuenca del Ebro (disponible en www.chebro.es).

Con el fin de presentar en los resultados de esta comunicación unos datos de eficiencia representativos de la cuenca del Ebro se ha construido una tabla-síntesis con datos de 20 zonas donde se presenta para cada una de ellas, la referencia bibliográfica del estudio, superficie evaluada, escala de eficiencia utilizada, sistema de riego, adecuación de los suelos al sistema de riego implantado y valor de eficiencia obtenido. En función de estas tres últimas variables se han clasificado las zonas mediante un análisis estadístico multivariante Cluster (Hair y col., 1999). El Cluster ha requerido la codificación de las características del riego (Inundación = 0, Presurizado = 1) y de la adecuación de los suelos al riego (Inadecuado = 0, Adecuado = 1) de cada zona estudiada. El análisis se ha desarrollado estandarizando las variables, tomando como medida de similitud la distancia euclídea al cuadrado y utilizando el método Ward como procedimiento para la obtención de conglomerados jerárquicos.

Del mismo modo, se ha construido otra tabla-síntesis con datos de 6 zonas en la que se relaciona la eficiencia de riego y la salinidad del suelo con la carga de sales y nitrógeno que exportan sus retornos de riego.

A partir del análisis de conocimiento realizado se ofrece una propuesta dirigida a mejorar el control de la eficiencia de riego y la magnitud y calidad de los retornos de los regadíos de la cuenca del Ebro.

Tabla 1. Fuentes consultadas (Bibliotecas, Bases Bibliográficas Informáticas y Contactos) para la recopilación de la información bibliográfica.

BIBLIOTECAS	
Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza (IAMZ)	Universidad de Lérida
Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE)	Universidad de Salamanca
Estación Experimental Aula Dei (CSIC)	Universidad de Zaragoza
Estación Biológica de Doñana (CSIC)	Universidad de Barcelona
Servicio de Investigación Agroalimentaria (SIA-DGA)	Universidad Complutense Madrid
BASES BIBLIOGRÁFICAS INFORMÁTICAS	
Agrícola en CD	Current Contents en CD
Buscadores de Internet	CIRBIC Y ICYT on line
CAB en CD	Scirus on line
CONTACTOS	
Antigüedad, I.	Departamento de Geodinámica. Univ. País Vasco
Aragüés, R.; Faci J.; Quílez, D.; Herrero, J; Zapata, N.	Unidad de Suelos y Riegos del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria. Gobierno Aragón (CITA-DGA)
Auque, L.; Mandado, J.	Departamento de Ciencias de la Tierra. Área de Petrología y Geoquímica. Facultad de Geología. Univ. Zaragoza
Cambra, J.	Centro de Aplicaciones Agronómicas de la Melusa. CHE.
Casalí, J.	Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural. Escuela Técnica Superior Ingenieros Agrónomos. Univ. Pública Navarra
Cots, L.; Montserrat, J.; Barragán, J.;	Departamento de Ingeniería Agroforestal. Univ. de Lérida
Cruzado, A.	Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CSIC). Blanes
Cuchí, J.A.	Departamento de Agricultura y Economía Agraria. Área de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Univ. Zaragoza
Donézar, M.	Servicio de Estructuras Agrarias. Departamento de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Gobierno Navarra
Ederrea, I.	Riegos de Navarra
García-Ruiz, J.; Lasanta, T.	Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC). Zaragoza
Girona, J.	Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria. (IRTA). Lérida
Machín, J.	Departamento de Edafología. Estación Experimental de Aula Dei (CSIC). Zaragoza
Pinilla L.; Costa, C.; Durán, C.	Área de Calidad de Comisaría de Aguas. CHE.
Playán, E.; Lecina, S.	Departamento de Genética y Producción Vegetal. Estación Experimental de Aula Dei (CSIC). Zaragoza
Sánchez, J.A.	Departamento de Ciencias de la Tierra. Área de Geodinámica. Facultad de Geología. Univ. Zaragoza
Tejero, M.	Oficina del Regante. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria. Gobierno de Aragón (CITA-DGA).
Villar, J.; Villar, P.; Boixadera, J.	Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Univ. Lérida

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Eficiencia

El análisis Cluster divide las 20 zonas estudiadas en tres grupos (Tabla 2). Un primer grupo aglutina 9 zonas caracterizadas por tener implantado un riego por inundación sobre suelos inadecuados para este tipo de riego, es decir, con escasa profundidad y capacidad de retención de agua. La eficiencia media de este grupo es baja (51%) y según los estudios revisados los cultivos de estas zonas soportan un cierto estrés hídrico. Este estrés hídrico se asocia a la excesiva duración del intervalo entre riegos con relación a las características hídricas de los suelos y puede mermar considerablemente el rendimiento de los cultivos. El coeficiente de variación de la eficiencia media es relativamente elevado (22%) debido al efecto preponderante de la variabilidad de las características de los suelos sobre dichas eficiencias (es decir, la variabilidad depende más de las características de los suelos que del propio manejo del riego).

Tabla 2. Zona estudiada, superficie (S, ha), escala de eficiencia y autores de los estudios clasificados por un análisis cluster según su sistema de riego (SR), adecuación del suelo al riego (S) y eficiencia de riego (ER, %). Igualmente se presentan los resultados de eficiencia de riego media (%) y coeficiente de variación (CV, %) de los grupos discriminados por el Cluster.

Zona	S (ha)	Escala	Autor	SR ⁽¹⁾	S ⁽²⁾	ER (%)	ER media (%)
Linyola A	----	Parcela	Canela y col (1991)	I	I	66	GRUPO 1: 51 % CV = 22%
Alto Aragón A	----	Sistema	Nadal y Lacas (1998)	I	I	65	
Arbeca	430	Parcela	Cots y col. (1993)	I	I	30	
Rufas B	445	Parcela	Lecina y col. (2000a y b)	I	I	47	
C-XXX-3	217	Cuenca	Causapé (2002)	I	I	45	
Tarazona A	4000	Parcela	Zapata (2002)	I	I	50	
Violada	5282	Cuenca	Isidoro (2003)	I	I	50	
C-XIX-6	94	Cuenca	Causapé (2002)	I	I	56	
CR-V Bard. B	15500	Parcela	Lecina (2001)	I	I	53	
Linyola B	----	Parcela	Canela y col. (1991)	I	A	90	GRUPO 2: 79% CV= 8%
Tarazona B	4000	Parcela	Zapata (2002)	I	A	85	
Torrerribera	107	Cuenca	Barragán y col. (2001)	I	A	77	
Rufas A	445	Parcela	Lecina y col. (2000a y b)	I	A	78	
La Melusa	0,55	Parcela	Maté y col. (1997)	I	A	80	
CR-V Bard. A	15500	Parcela	Lecina (2001)	I	A	80	
La Torrasa	330	Parcela	Maté y col. (1994)	I	A	70	
C-27 (Bar.)	643	Cuenca	Lasanta y col. (2002)	I	A	73	
Bayunga	1152	Parcela	Zapata y Ederra (2002)	I	A	75	
Alto Aragón B	----	Sistema	Nadal y Lacas (1998)	P	A	96	GRUPO 3: 94%
Monegros II	964	Cuenca	Tedeschi y col. (2001)	P	A	92	

(1) I: Inundación; P: Presurizado

(2) I: Inadecuado; A: Adecuado

Un segundo grupo de otros 9 elementos se constituye con zonas donde se ha implantado un riego por inundación sobre suelos adecuados para ello. Además en estas zonas se practica la nivelación láser y se usan caudales de riego más adecuados lo que condiciona una mayor eficiencia media (79%). El coeficiente de variación de esta eficiencia media es bajo (8%), debido a que estos suelos son capaces de retener gran parte del agua infiltrada, por lo que la variabilidad depende más del manejo del riego que del propio suelo.

Finalmente, en el tercer grupo (2 elementos) se incluyen las zonas bajo riego a presión presentando la mayor eficiencia media (94%). En este último grupo los suelos se han considerado adecuados para el riego ya que sus deficiencias en los parámetros hídricos pueden ser corregidas con un buen manejo del riego.

La diferencia existente entre la eficiencia de las zonas bajo riego a presión (94% de media) de las zonas con suelos adecuados y un buen manejo del riego por inundación (79% de media) puede no ser importante si tenemos en cuenta que todos los datos de eficiencia de zonas con riego por inundación salvo los datos de Alto Aragón "A" se corresponden con datos de eficiencia a nivel de parcela o de pequeñas cuencas agrarias donde no existe reutilización y por tanto la eficiencia global de sus sistemas podría ser mayor. Debe además señalarse que las eficiencias obtenidas en riegos presurizados no han tenido en cuenta el efecto del viento sobre el arrastre y evaporación del agua aplicada, lo que en la práctica puede disminuir significativamente los valores reales de eficiencia (Faci y Bercero, 1991). Estos hechos rechazan la idea de la necesidad de implantación generalizada de sistemas de riego presurizados ya que en zonas apropiadas con infraestructuras adecuadas, un buen manejo del riego por superficie puede otorgarnos eficiencias del mismo orden que un riego presurizado a un coste sensiblemente menor. Sin embargo, el riego a presión se presenta como la única alternativa de obtener elevadas eficiencias en las zonas con suelos inadecuados para el riego por inundación.

A pesar de la variabilidad de metodologías y conceptos de eficiencia utilizados en los diferentes estudios, los resultados obtenidos pueden ser representativos de las eficiencias de riego del valle del Ebro. La extrapolación de los valores obtenidos para los tres grupos sobre la cartografía de suelos y sistemas de riego de la cuenca puede ofrecernos una idea de la eficiencia en parcela-subcuenca de los regadíos de la cuenca del Ebro. Sin embargo, no existen estudios rigurosos que evalúen la eficiencia global de los grandes polígonos de riego.

3.2 Impacto ambiental

Las principales afecciones que los regadíos ejercen sobre la calidad de las aguas de la cuenca del Ebro están relacionadas con la salinización y la contaminación por nitrato. Los análisis de tendencias en la salinización de las aguas del Ebro y las concentraciones de nitrato medidas en la red de control de nitratos en aguas subterráneas ponen de manifiesto el incremento de los problemas medioambientales ocasionados por los retornos de riego. Los valores de salinidad más altos se registran en zonas salinas obteniéndose valores que llegan a multiplicar por más de diez veces la salinidad máxima exigida a un agua destinada a la producción de agua potable (2,5 dS/m). Los retornos de riego en zonas no salinas

no alcanzan niveles tan críticos (generalmente CE inferior a 1,5 dS/m) pero su uso consuntivo provoca que los retornos multipliquen varias veces la salinidad del agua de riego.

En cuanto a la concentración de nitrato, en acuíferos superficiales situados en zonas agrarias de regadío se han llegado a medir niveles de 250 mg/L que multiplican hasta por cinco el límite sanitario (50 mg/L). Las aguas superficiales de zonas regables van más diluidas y raramente alcanzan los 50 mg/L pero presentan valores por encima del fondo natural mostrando indicios de contaminación.

El seguimiento de la calidad del agua en los sistemas receptores de los flujos de drenaje de los sistemas agrarios ha mostrado que la salinidad y la concentración de nitrato aumentan según la dirección del flujo de agua y en periodos con menores caudales (invierno). En el caso de la concentración de nitrato los máximos valores se han detectado en periodos con caudal base y en las épocas de aplicación de los fertilizantes nitrogenados, especialmente para el cultivo de maíz (junio-julio).

Si analizamos algunos de los valores de masa de sales exportada anualmente por los regadíos estudiados (Tabla 3) observamos que las cantidades exportadas en áreas de regadío salinas o con yeso (Violada en Monegros I, C-27 en Bardenas I, y D-IX / D-XI en Monegros II) superan ampliamente a las de zonas no salinas (C-XIX-6, C-XXV-3, C-XXX-3 en Bardenas I). Entre las zonas salinas aquellas con mayor eficiencia de riego (D-IX / D-XI y C-27) presentan una menor masa de sales exportadas ya que con la disminución del volumen de drenaje se disminuye la masa de sales que se disuelve del suelo, aunque la concentración de los retornos de riego pueda aumentar por efecto de la mayor evapoconcentración del agua de riego.

La mayor masa de nitrógeno exportada corresponde a las zonas con menores eficiencias de riego y de fertilización nitrogenada (C-XXX-3 y C-XIX-6 en Bardenas, Violada en Monegros I) mientras que la menor masa exportada se presenta en la zona de mayor eficiencia y uso del fertirriego (D-IX / D-XI en Monegros II) y en la cuenca con predominio de cultivos para pastos con bajas dosis de fertilización nitrogenada (C-XXV-3 en Bardenas I).

Tabla 3. Eficiencia y masas de sales y nitrógeno exportadas anualmente por regadíos de la cuenca del Ebro

Zona	Eficiencia Riego (%)	Suelo	Sales (t/ha/año)	Nitrógeno (kg N/ha/año)
C-XIX-6 (Bardenas I) ⁽¹⁾	56	No salino	4	98
C-XXV-3 (Bardenas I) ⁽¹⁾	62	No salino	3	23
C-XXX-3 (Bardenas I) ⁽¹⁾	45	No salino	5	195
C-27 (Bardenas I) ⁽²⁾	73	Salino	14	----
Violada (Monegros I) ⁽³⁾	50	Yesífero	20	70
D-IX / D-XI (Monegros II) ⁽⁴⁾	92	Salino	14	34

⁽¹⁾ Causapé (2002); ⁽²⁾ Lasanta y col. (2002); ⁽³⁾ Isidoro (1999); ⁽⁴⁾ Cavero y col. (2003)

Las estimaciones de masas de sales y N-NO_3^- por superficie de cuenca exportadas por el Ebro obtenidas a partir del registro de caudal y concentraciones en Tortosa durante los últimos 20 años son sensiblemente inferiores (0,76 t/ha/año de sales y 3 kg N-NO_3^- /ha/año). Este hecho pone de manifiesto la magnitud que adquiere la cantidad de sales y nitrógeno exportadas en zonas agrarias de regadío respecto a la dinámica natural de los sistemas hídricos así como el impacto que los retornos de los regadíos ejercen sobre la calidad de las aguas del Ebro.

Los datos obtenidos en los diversos estudios revisados pueden ser representativos de los regadíos de la cuenca del Ebro, si bien, se ha de tener en cuenta que los datos proceden de proyectos de investigación que normalmente son realizados en zonas especiales. De cualquier modo, los estudios demuestran que el manejo del riego y de la fertilización nitrogenada junto a la salinidad de los suelos puestos en riego son los factores que controlan la masa de sales y nitrógeno exportada y por tanto, el impacto que ejercen los regadíos sobre los sistemas receptores de los flujos de drenaje. El mayor impacto de unos regadíos frente a otros de características similares, indica que pueden ejercerse actuaciones que minimicen las afecciones medioambientales de los regadíos de la cuenca del Ebro.

4. CONCLUSIONES

Los trabajos revisados estudian los regadíos desde diferentes perspectivas y utilizan distintas metodologías en función de la disponibilidad de datos y la amplitud geográfica que quieran abarcar. Ello dificulta el poder obtener una visión global del estado de los regadíos en la cuenca del Ebro.

La información recopilada muestra que los regadíos de la cuenca del Ebro presentan una gran variabilidad en cuanto a su eficiencia e impacto medio ambiental. Esta variabilidad es debida a la diversidad de sus características físicas y de manejo del riego y fertilización, muy condicionados por las características geológicas de cada área y, en particular, por las características de sus suelos.

Valores representativos de la cuenca del Ebro constatan una baja-moderada eficiencia de riego a nivel de parcela-subcuenca de las zonas con riego por inundación sobre suelos inadecuados para ello (51%), moderada-alta eficiencia de las zonas con riego por inundación sobre suelos adecuados (79%), y alta eficiencia en las zonas transformadas a riego a presión (94%).

Son muchos los estudios destinados a diagnosticar la salinidad y concentración de nitrato de las aguas de la cuenca pero muy pocos los que cuantifican la carga de sales y nitratos que exportan los regadíos y menos aún los que profundizan en la relación que las características físicas y el manejo agronómico tienen sobre el impacto ambiental de los regadíos. Es preocupante el impacto medioambiental de zonas salinas que presentan baja eficiencia en el riego y fertilización nitrogenada que pueden llegar a exportar 20 t/ha/año de sales y 200 Kg N-NO_3^- /ha/año. Sin embargo, las menores masas de sales (3 t/ha/año) y nitrógeno (25 Kg N-NO_3^- /ha/año) exportadas en zonas con alta eficiencia de riego y fertilización nitrogenada muestran la posibilidad de minimizar sensiblemente las afecciones medioambientales de los regadíos más contaminantes.

5. RECOMENDACIONES

A la hora de poder cuantificar con fiabilidad la evolución espacio-temporal de los regadíos se hace indispensable el control de su eficiencia e impacto medioambiental. La elaboración de balances de agua, sales, y nitrógeno mediante la medición de entradas y salidas en cuencas hidrológicas ha dado buenos resultados en proyectos de investigación desarrollados en regadíos de la cuenca del Ebro.

Sin embargo, la falta de continuidad de los proyectos de investigación y la variabilidad de conceptos y metodologías que utilizan, supone un grave obstáculo a la hora de obtener la información necesaria para la adecuada planificación y gestión de los regadíos. Por ello, se propone el establecimiento de una **Red de Control** permanente de los **Regadíos** de la cuenca del **Ebro (ReCoREbro)** gestionada por su Confederación Hidrográfica.

ReCoREbro persigue poner en funcionamiento a medio plazo una serie de estaciones de control de los retornos de riego (inicialmente volumen, salinidad, y concentración en nitratos) a escala de cuencas hidrográficas que abarquen los grandes polígonos de riego de la cuenca del Ebro. La información obtenida del control de los retornos junto a información básica sobre las características físicas y el manejo agronómico permitirá conocer para cada unidad de red su eficiencia de riego global y la cantidad de contaminantes que exporta (parámetros clave a controlar por ReCoREbro).

A partir de toda la información recogida durante los primeros años de seguimiento y control, se dispondrá de información básica para proponer valores medioambientales objetivo por grandes polígonos de riego.

La implantación de ReCoREbro deberá estar precedida por a) el control experimental de un gran polígono de riego que ponga a punto la metodología a exportar al resto de la cuenca y b) el diseño de la red que deberá tener en cuenta el aprovechamiento de la infraestructura existente (estaciones de control foronómico y de calidad e las aguas, redes climáticas...).

La colaboración del sector agrario a través de sus Comunidades de Regantes es básica para maximizar el rendimiento de ReCoREbro en la búsqueda de alternativas que favorezcan una adecuada planificación y gestión de los regadíos de la cuenca del Ebro.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al proyecto 2003-PH-35-I financiado por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

7. REFERENCIAS

- Barragán J., Cots L., Pla I. 2001. Estudio de los aspectos cuantitativos y cualitativos de los retornos de las aguas de excedentes de riego y calidad ambiental de las mismas. Oficina de Planificación Hidrológica. Confederación Hidrográfica del Ebro. Documento Interno.
- Canela Ll., Barragán J., Montserrat J. 1991. Evaluación del riego por tablares en la colectividad de Linyola Canal de Urgell (Lleida). Riegos y Drenajes nº 50: 24-28.

- Causapé J. 2002. Repercusiones medioambientales de la agricultura sobre los recursos hídricos de la comunidad de regantes nº V de Bardenas (Zaragoza). Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza. 153 pp. Disponible en <http://www.cervantesvirtual.com>.
- Cavero J., Beltrán A., Aragües R. 2003. Nitrate exported in the drainage water of two sprinkler irrigated watershed. *J. Environmental Quality* 32:916-926.
- Cots Ll., Montserrat J., Borrás E., Barragán J. 1993. Evaluación del uso del agua en la zona de "Les Planes" (430 ha) del término municipal de Arbeca (Colectividad nº 13 de los Canales de Urgell, Lleida). XI Jornadas Técnicas sobre Riegos. Asociación Española de Riegos y Drenajes. Valladolid. 178-185.
- CHE (1996) "Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro". Disponible en <http://oph.chebro.es/PlanHidrologico/inicio.htm>.
- Faci J. Bercero A. 1991. Efecto del viento en la uniformidad y en las pérdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales*. 6 (2): 171-182.
- Isidoro D., 1999. Impacto del regadío sobre la calidad de las aguas del barranco de La Violada (Huesca): salinidad y nitratos. Tesis doctoral, Universidad de Lérida, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Departamento Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. 267 pp.
- Isidoro D., Quílez D., Aragües R. 2003. Water balance and irrigation performance analysis: La Violada irrigation district (Spain) as a case study. *Agricultural Water Management*. 64 (2): 123-142.
- Lasanta T., Mosch W., Pérez-Rontomé M.C., Navas A., Machín J., Maestro M. 2002. Effects of irrigation on water salinization in semi-arid environments. a case study in Las Bardenas, Central Ebro Depression, Spain. *Environmental change and water sustainability*. García-Ruiz J.M., Jones A., Arnáez J. Eds. Instituto Pirenaico de Ecología. 198-218.
- Lecina S., Montserrat J., Cots Ll. 2000a. El uso del agua en el regadío de Flumen (I). Zona noroccidental de la Acequia de Rufas (Huesca). *Riegos y Drenajes XXI*. 111: 42-44.
- Lecina S., Montserrat J., Cots Ll. 2000b. El uso del agua en el regadío de Flumen (II). Zona noroccidental de la Acequia de Rufas (Huesca). *Riegos y Drenajes XXI* 112: 54-57.
- Lecina S., Isidoro D., Dechmi F., Causapé J., Playán E., Faci J.M., Laplaza J.M. 2001. Evaluación de los riegos de la Comunidad de Regantes V del Canal de Bardenas. XIX Congreso Nacional de Riegos y Drenajes (AERYD). Zaragoza 2001. *Actas del Congreso*. 169-170.
- Maté L., Cruz J., Cruz L.M. 1994. Evaluación de la eficiencia de un polígono de riego en la zona del Canal de Aragón y Cataluña y estimación del ahorro potencial de agua de riego debido a la aplicación de la técnica de refino láser y al aumento del módulo de agua disponible. *Acta Symposium Nacional sobre presente y futuro de los regadíos españoles*.
- Maté L., Ruíz M., San Martín J.M., Agüeroles M. 1997. Determinación de la eficiencia del riego por inundación y de los volúmenes extraídos por el sistema radicular del cultivo de maíz a distintas profundidades, con auxilio de la sonda de neutrones, en una parcela refinada por el método laser. Documento interno Confederación Hidrográfica del Ebro. 7 pp.
- Nadal E., Lacas M. 1998. Eficiencia de los regadíos en el sistema de riegos del Alto Aragón. *Aguas de la cuenca del Ebro S.A.* 158 pp.
- Tedeschi A., Beltrán A., Aragües R. 2001. Irrigation management and Hydrosalinity balance in a semi-arid area of the middle Ebro river basin (Spain). *Agric. Water Manag.* 49: 31-50.
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., Black, W., 1999. *Análisis Multivariante*. Prentice Hall Iberia, 5ª ed. Madrid. 832 pp.
- Zapata N. 2002. Estudio del uso del agua en la Comunidad de Regantes de Tarazona. Propuestas de mejora. Documento interno Oficina del Regante. DGA. 21 pp.
- Zapata N., Ederra I. 2002. Estudio del uso del agua en la comunidad de regantes de la acequia Bayunga: Antes y después de la modernización. *Actas del XX Congreso Nacional de Riegos*. Ciudad Real. 141-144.